

**ANALISA UPRATING TRANSFORMATOR DAYA 16 MVA MENJADI 60 MVA
PADA GI BLORA UNTUK MENINGKATKAN MUTU PENYALURAN ENERGI
LISTRIK**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

MUTHIA NURAFIEAH

D 400 170 011

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA UPRATING TRANSFORMATOR DAYA 16 MVA MENJADI 60 MVA
PADA GI BLORA UNTUK MENINGKATKAN MUTU PENYALURAN ENERGI
LISTRIK**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

MUTHIA NUR AFIEAH

D 400 170 011

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing ^{13/7/21}
acc



Aris Budiman, ST., MT.

NIK. 885

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA UPRATING TRANSFORMATOR DAYA 16 MVA MENJADI 60 MVA PADA GI BLORA UNTUK MENINGKATKAN MUTU PENYALURAN ENERGI LISTRIK

OLEH

MUTHIA NUR AFIFAH

D 400 170 011

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada Jum'at, 23 Juli 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Aris Budiman, ST.,MT.

(Ketua Dewan Penguji)

2. Umar, ST .,MT.

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Agus Supardi, ST .,MT.

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIK. 892

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 23 Juli 2021

Penulis



MUTHIA NUR AFIFAH

D 400 170 011

ANALISA UPRATING TRANSFORMATOR DAYA 16 MVA MENJADI 60 MVA PADA GI BLORA UNTUK MENINGKATKAN MUTU PENYALURAN ENERGI LISTRIK

Abstrak

Sistem ketenagalistrikan di setiap tahun mengalami pertumbuhan jumlah pelanggan sehingga mempengaruhi peningkatan jumlah energi listrik yang disalurkan. Semakin bertambahnya jumlah konsumen listrik maka semakin besar energi listrik yang disalurkan oleh Gardu Induk. Apabila beban listrik yang ada pada Gardu Induk lebih besar dari kapasitasnya, maka Gardu Induk akan mengalami pembebanan transformator distribusi yang melebihi kapasitas. Idealnya transformator dibebani 80% dari nominal kapasitas trafo, pembebanan trafo sangat mempengaruhi kinerja trafo yang beroperasi dengan pembebanan 100% atau lebih dalam jangka panjang akan menyebabkan beberapa penurunan kinerja. Pada kondisi sebelum dilakukannya *uprating* 16 MVA hasil simulasi ETAP diperoleh pada daya aktif trafo primer BUS 1 656 kW, daya reaktif 3 kVar dan arus 2,5 A, daya aktif trafo sekunder BUS 2 656 kW, daya reaktif 0,64 kVar dan arus 18,9 A. Kondisi setelah dilakukannya *uprating* 60 MVA daya aktif trafo primer BUS 1 sebesar 1129 kW, daya reaktif 16 kVar dan arus 4,3 A, daya aktif trafo sekunder BUS 2 1129 kW, daya reaktif 13 kVar dan arus 32,6 A. Dari data tersebut setelah dilakukannya *uprating* trafo 60 MVA di atas sudah cukup baik, karena daya aktif, daya reaktif dan arus tidak mengalami penurunan tetapi semakin bertambah pada setiap penyulangannya walaupun ada beberapa penyulang yang mengalami perubahan BLA 04 yang awalnya ada pada trafo 1 diganti menjadi BLA 05 yang awalnya pada trafo 2. Total daya aktif, daya reaktif dan arus sebelum dan sesudah dilakukannya *uprating* mempunyai selisih 2360 kW, 25,749 kVar dan 95,1 A. *Uprating* pada transformator dapat meningkatkan kehandalan kinerja operasi dalam pendistribusian tenaga listrik kepada konsumen, dengan adanya perubahan transformator proses *uprating* dalam sistem tenaga listrik juga sangat berpengaruh terhadap sistem proteksi yang telah terpasang. Upaya ini dilakukan untuk meningkatkan mutu penyaluran jaringan listrik kepada konsumen, *uprating* transformator dengan meningkatkan kapasitas daya transformator 16 MVA menjadi 60 MVA pada sistem jaringan 150/20 kV.

Kata Kunci: Transformator, Uprating, Pembebanan Penyulang, ETAP

Abstract

In the electricity system, every year there is a growth in the number of customers so that it affects the increase in the amount of electrical energy distributed. The increasing number of electricity consumers, the greater the electrical energy distributed by the substation. If the electrical load on the substation is greater than its capacity, the substation will experience a distribution transformer that exceeds capacity. Ideally the transformer is loaded with 80% of the nominal transformer capacity, transformer loading greatly affects the performance of a transformer that operates with a load of 100% or more in the long term will cause some performance degradation. In the conditions prior to the 16 MVA *uprating*, the ETAP simulation results obtained at the primary transformer BUS 1 656 kW active power, reactive power 3 kVar and current 2.5 A, active power secondary transformer BUS 2 656 kW, reactive power 0.64 kVar and current 18.9 A. Meanwhile, after an *uprating* of 60 MVA, the active power of the BUS 1 primary transformer is 1129 kW

The reactive power is 16 kVar and the current is 4.3 A, the active power of the secondary transformer BUS 2 is 1129 kW, the reactive power is 13 kVar and the current is 32.6 A. From the data, after the 60 MVA transformer rating up was done, the above was quite good, because the active power, reactive power and current did not decrease but instead increased in each feeder even though there were some feeders who experienced changes in BLA 04 which was originally there in transformer 1 it was changed to BLA 05 which was originally in transformer 2. Total active power, reactive power and current before and after the *uprating* had a difference of 2360 kW, 25,749 kVar and 95,1 A. *Uprating* the transformer can increase reliability operational performance in the distribution of electric power to consumers, with changes in the transformer *uprating* process in the electric power system also greatly affects the protection system that has been installed. This effort is carried out to improve the quality of electricity distribution to consumers by increasing the transformer power capacity from 16 MVA to 60 MVA on a 150/20 kV network system.

Keywords : Transformer, Uprating, Feeder Load, ETAP

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik di Indonesia terdiri dari beberapa bagian yaitu sistem pembangkit, transmisi dan distribusi. Sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan konsumen atau pelanggan adalah sistem distribusi. Sistem distribusi mempunyai peranan penting karena berhubungan langsung dengan pemakaian energi listrik Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Dalam sistem transmisi, transformator digunakan untuk menurunkan tegangan penyaluran 150 kV ke tegangan distribusi 20 kV. Metode *uprating* merupakan peningkatan kapasitas daya transformator 16 MVA menjadi 60 MVA pada sistem 150 kV/20 kV. Penelitian lain menyatakan bahwa umur transformator harus dilakukan pemeliharaan agar dapat bertahan sesuai dengan kondisi umur transformator. Umur transformator dapat berkurang akibat pengaruh pembebanan, pembebanan yang tinggi menyebabkan kerusakan pada isolasinya (Samzurizal, 2020)

Kebutuhan sistem ketenagalistrikan setiap tahun mengalami pertumbuhan jumlah pelanggan sehingga mempengaruhi peningkatan jumlah energi listrik yang disalurkan. Semakin bertambahnya jumlah konsumen listrik maka semakin besar energi listrik yang disalurkan oleh GI. Apabila beban listrik yang terdapat pada GI lebih besar dari kapasitasnya, maka GI akan mengalami pembebanan transformator distribusi yang sudah melebihi kapasitas atau dapat dikatakan transformator overload. Idealnya transformator dibebani 80% dari nominal kapasitas trafo. Pembebanan trafo sangat berpengaruh terhadap kinerja trafo itu sendiri, jika transformator beroperasi dengan pembebanan 100% atau lebih dalam jangka panjang akan menyebabkan beberapa penurunan kinerja contohnya : (1) Penurunan nilai isolasi pada minyak transformator (2) Kerusakan pada *packing-packing* transformator, isolasi kerja, dan material isolasi lainnya (3) Munculnya rembesan pada titik-titik *krusial* : *bushing* transformator, rele mekanik (4) Transformator berpotensi trip oleh rele termal.

Tujuan dilakukan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh dampak *uprating* pada transformator 16 MVA menjadi 60 MVA terhadap susut daya sistem penyaluran energi listrik PLN. Untuk mengatasi hal ini maka perlu dilakukan pengembangan maupun perencanaan pada gardu induk dan transmisi berdasarkan pertumbuhan beban yang terjadi selama lima atau sepuluh tahun kedepan. ETAP (Electrical Transient Analysis Program) merupakan salah satu aplikasi *software* yang banyak digunakan dalam mensimulasikan sistem tenaga listrik dan juga dapat digunakan untuk simulasi perancangan maupun analisis sistem tenaga listrik bertegangan tinggi. Program *ETAP* kemudian digunakan untuk studi analisis stabilitas dalam sistem tenaga listrik oleh K, Ramasudha; Prakash, V V S, 2005 “Power System Simulation Electrical Transient Analysis Program (*ETAP*)”.

2. METODE

Metode yang digunakan untuk penelitian ini dengan melakukan analisa menggunakan software ETAP 12.6.0, penelitian dilakukan di Gardu Induk Blora 150 kV. Sebelum melakukan penelitian, penulis membuat rancangan penelitian agar penelitian mempunyai tujuan dan mengetahui langkah yang benar. Perancangan penelitian untuk menyusun Tugas Akhir initerdiri dari 6 tahap, yaitu :

a. Studi Literatur

Studi literature merupakan langkah awal yang digunakan dalam melakukan penelitian. Studi literature yang dimaksud adalah mengumpulkan data-data, mencari referensi jurnal,thesis, skripsi yang sesuai dengan judul yang akan dibahas pada penelitian ini terkait Tugas Akhir ini.

b. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di Gardu Induk 150 kV Blora dengan tujuan untuk memperoleh data-data yang diperlukan lalu kemudian akan diolah dan dianalisa. Data- data yang akan digunakan berupa data pembebanan transformator sebelum dan sesudah dilakukan *uprating* transformator 16 MVA menjadi 60 MVA.

c. Pengolahan Data Simulasi Etap 12.6.0

Data yang didapat kemudian diolah dengan menggunakan rumus yang sudah dijelaskan dengan menggunakan *software* Etap 12.6.0 yang digunakan untuk proses pengolahan data simulasi *Software* ETAP 12.6.0 dimulai dengan menggambar single line diagram dengan detail parameternya dan Microsoft Excel.

d. Analisis Data

Dilakukan analisis data yang bertujuan untuk mengetahui hasil pembebanan yang sesuai setelah dilakukan *uprating* transformator 16 MVA menjadi 60 MVA yang diperoleh dengan cara manual dan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

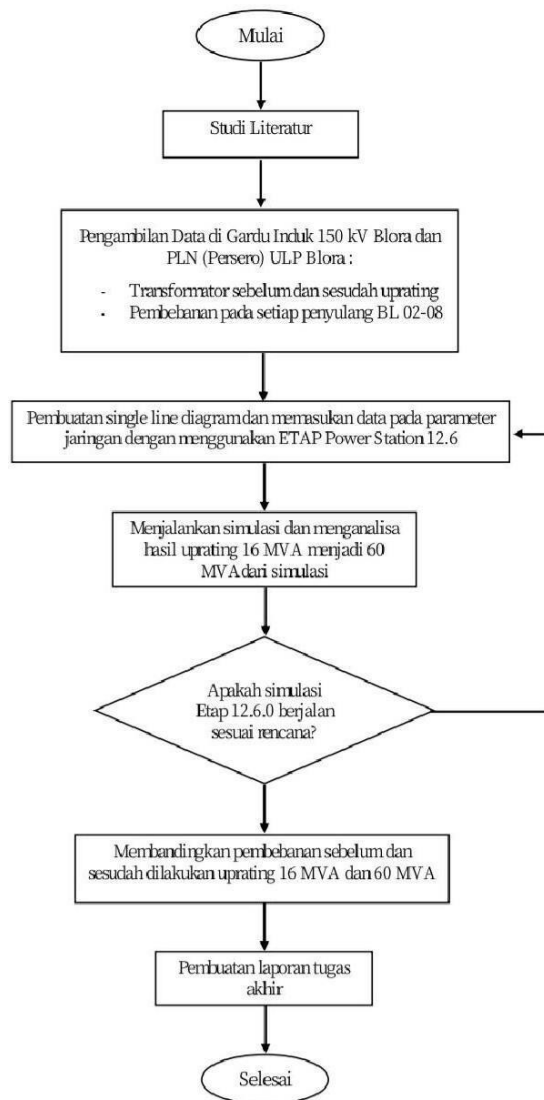
e. Studi Bimbingan

Dalam tahap studi bimbingan penulis melakukan bimbingan mulai dari konsultasi terkait penyusunan laporan Tugas Akhir dengan bertukar pikiran dengan dosen pembimbing.

f. Pembuatan Laporan

Dalam tahap pembuatan laporan Tugas Akhir ini dilakukan dengan hasil analisis dan sebagai bentuk dari hasil penelitian di Gardu Induk 150 kV Blora.

g. *Flowchart* Penelitian



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data pembebanan transformator daya I 16 MVA Gardu Induk Blora 150 kV

NO	GARDU INDUK	TITIK UKUR		JARAK DARI GI (km)	PERALATAN	TOTAL DAYA (KVA)	KAPASITAS (KVA)
		FEEDER	NO TIANG				
1	BLORA	BLA 02	BL2-3	0,2	ABSW	200	56,3
			BL2-41	4,9	RECLOSER	160	34,2
			BL2-58/4	5,1	LBS	100	18,4
			BL2-65/2	6	LBS	100	36,4
2	BLORA	BLA 03	BL3-5	2,5	ABSW	300	73,5
			BL3-39	3,2	LBS	450	54,4
			BL 3-58	4,4	RECLOSER	160	16,3
			BL3-83/2	5,3	RECLOSER	200	15,4
			BL3-88	6,5	ABSW	200	48,1
3	BLORA	BLA 04	BL4-2	0,7	ABSW	200	78,9
			BL4-24/38	3,8	LBS	200	16,2
			BL4-74	4	RECLOSER	200	12,4
			BL4-82A/2	5,3	ABSW	200	20,5
4	BLORA	BLA 08	BL8-7	1,2	ABSW	200	56,3
			BL8-38	3,5	RECLOSER	200	10,5
			BL8-271	4,9	RECLOSER	160	45,7
			BL1-368/5	5,2	ABSW	160	13,7

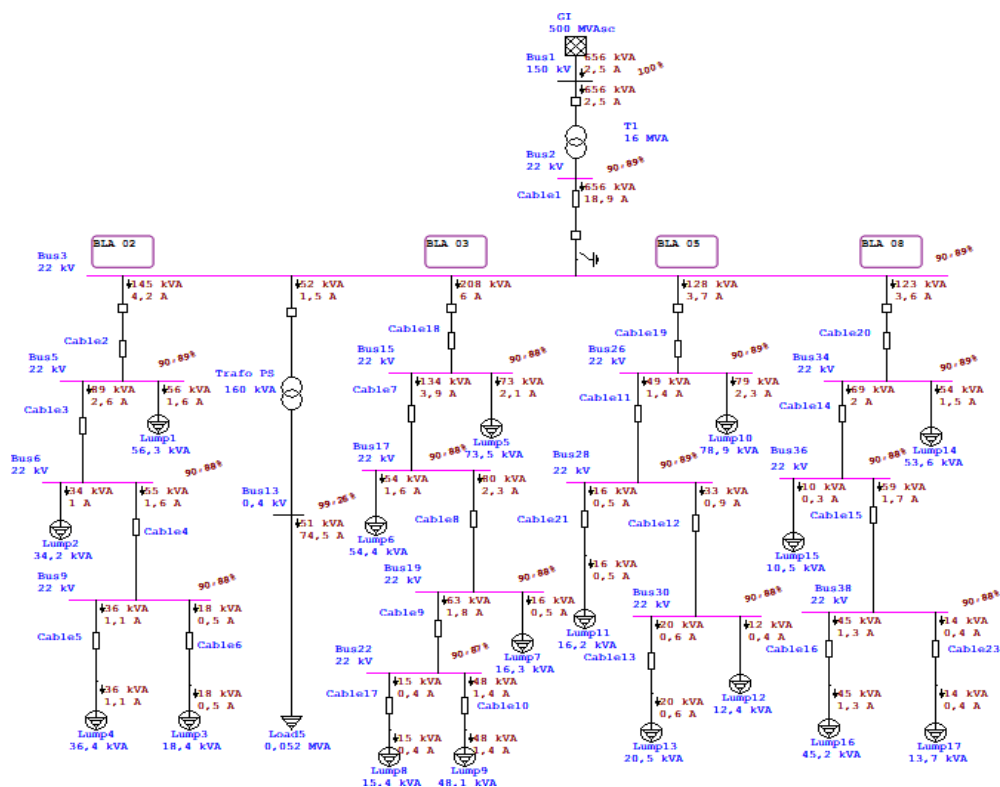
Tabel 2. Data pembebanan transformator daya I 60 MVA Gardu Induk Blora 150 kV

NO	GARDU INDUK	FEEDER	TITIK UKUR		PERALATAN	TOTAL DAYA (KVA)	KAPASITAS (KVA)
			NO TIANG	JARAK DARI GI(km)			
1	BLORA	BLA 02	BL2-3	0,2	ABSW	200	62,2
			BL2-41	4,9	RECLOSER	160	52,1
			BL2-58/4	5,1	LBS	250	33,4
			BL2-65/2	6	LBS	250	54
2	BLORA	BLA 03	BL3-5	2,5	ABSW	500	93,4
			BL3-39	3,2	LBS	1250	76
			BL 3-58	4,4	RECLOSER	250	49,2
			BL3-83/2	5,3	RECLOSER	250	36,3
3	BLORA	BLA 05	BL5-1	1	ABSW	2500	93,5
			BL5-81/3	4,1	LBS	160	29,7
			BL5-42	4,5	RECLOSER	250	57,3
			BL5-200	5,7	ABSW	250	67,1
			BL5-212/2	6,5	RECLOSER	250	59,4

4	BLORA	BLA 08	BL8-7	1,2	ABSW	500	88
			BL8-38	3,5	RECLOSER	250	77,2
			BL8-271	4,9	RECLOSER	250	47,4
			BL1-368/5	5,2	ABSW	250	51,6

3.1 Kondisi Sebelum dilakukannya *Uprating* Transformator daya sebesar 16 MVA pada Feeder BLA 02, BLA 03, BLA 04, BLA 08

Hasil perhitungan studi analisis kasus *uprating* transformator 16 MVA menjadi 60 MVA ini merupakan hasil simulasi pada *software* ETAP Power Station 12.6.0. Studi kasus analisis *uprating* transformator ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan kapasitas pembebanan daya transformator yang terpasang pada setiap penyulang. Berdasarkan hasil simulasi *software* ETAP pada analisis *uprating* transformator ini , dapat diperoleh dengan arus gangguan yang mengalir pada saluran distribusi 20 kV pada transformator I GI Blora 150 kV dengan daya transformator 16 MVA menjadi transformator dengan daya 60 MVA. Simulasi *ETAP* transformator 16 MVA sebelum dilakukannya *uprating* sebagai berikut :



Gambar 1. Hasil simulasi running *software* ETAP pada transformator 16 MVA sebelum dilakukannya *uprating*

Berdasarkan hasil *running ETAP* studi pada transformator 16 MVA terdapat semua bus yang mengalami *under voltage* yaitu pada BUS 2 sampai BUS 38 dan tegangan rating sekunder pada transformator sebelum dilakukannya *uprating* sebesar 22 kV, sehingga pengaruh *uprating* ini sangat penting terutama untuk mengevaluasi saat terjadinya gangguan hubungan singkat pada sistem jaringan transmisi maupun distribusi.

Uji coba hubung singkat juga digunakan untuk menilai kapasitas-kapasitas alat-alat pemutus tenaga atau biasa disebut (PMT), sehingga dapat mengetahui besar arus yang mengalir saat sebelum dan sesudah dilakukan proses *uprating*, hal tersebut dilakukan untuk mengevaluasi uji breaking capacity pada PMT sebagai pengaman (proteksi) dan juga untuk pengaman aliran pembebanan transformator yang mengalir pada setiap penyulang, rugi daya saluran dan aliran beban sistem, seperti yang tertera pada tabel 2 di bawah ini :

Tabel 1. Load flow transformator 16 MVA sebelum dilakukannya *uprating*

LOAD FLOW REPORT														
Bus		Voltage			Generation		Load		Load Flow					XFMR
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap	
* Bus1	150.000	100.000	0.0	0.656	0.003	0	0	Bus2	0.656	0.003	2.5	100.0		
Bus2	22.000	90.889	-0.2	0	0	0	0	Bus3	0.656	0.001	18.9	100.0		
								Bus1	-0.656	-0.001	18.9	100.0		
Bus3	22.000	90.889	-0.2	0	0	0	0	Bus2	-0.656	-0.001	18.9	100.0		
								Bus5	0.145	0.000	4.2	100.0		
								Bus15	0.208	0.000	6.0	100.0		
								Bus26	0.128	0.000	3.7	100.0		
								Bus34	0.123	0.000	3.6	100.0		
								Bus13	0.052	0.001	1.5	100.0		
Bus5	22.000	90.889	-0.2	0	0	0.056	0.000	Bus3	-0.145	0.000	4.2	100.0		
								Bus6	0.089	0.000	2.6	100.0		
Bus6	22.000	90.883	-0.2	0	0	0.034	0.000	Bus5	-0.089	0.000	2.6	100.0		
								Bus9	0.055	0.000	1.6	100.0		
Bus9	22.000	90.879	-0.2	0	0	0	0	Bus6	-0.055	0.000	1.6	100.0		
								Bus11	0.036	0.000	1.1	100.0		
								Bus48	0.018	0.000	0.5	100.0		
Bus11	20.000	99.964	-0.2	0	0	0.036	0.000	Bus9	-0.036	0.000	1.1	100.0		
Bus13	0.400	99.257	-0.8	0	0	0.051	0.000	Bus3	-0.051	0.000	74.5	100.0		
Bus15	22.000	90.882	-0.2	0	0	0.073	0.000	Bus17	0.134	0.000	3.9	100.0		
								Bus3	-0.208	0.000	6.0	100.0		
Bus17	22.000	90.876	-0.2	0	0	0.054	0.000	Bus15	-0.134	0.000	3.9	100.0		
								Bus19	0.080	0.000	2.3	100.0		
Bus19	22.000	90.876	-0.2	0	0	0.016	0.000	Bus17	-0.080	0.000	2.3	100.0		
								Bus22	0.063	0.000	1.8	100.0		
Bus22	22.000	90.871	-0.3	0	0	0	0	Bus19	-0.063	0.000	1.8	100.0		
								Bus44	0.048	0.000	1.4	100.0		
								Bus47	0.015	0.000	0.4	100.0		
Bus26	22.000	90.888	-0.2	0	0	0.079	0.000	Bus28	0.049	0.000	1.4	100.0		
								Bus3	-0.128	0.000	3.7	100.0		
Bus28	22.000	90.886	-0.2	0	0	0	0	Bus26	-0.049	0.000	1.4	100.0		
								Bus30	0.033	0.000	0.9	100.0		
								Bus43	0.016	0.000	0.5	100.0		
Bus30	22.000	90.884	-0.2	0	0	0.012	0.000	Bus28	-0.033	0.000	0.9	100.0		
								Bus46	0.020	0.000	0.6	100.0		
Bus34	22.000	90.887	-0.2	0	0	0.054	0.000	Bus36	0.069	0.000	2.0	100.0		
								Bus3	-0.123	0.000	3.6	100.0		
Bus36	22.000	90.884	-0.2	0	0	0.010	0.000	Bus34	-0.069	0.000	2.0	100.0		
								Bus38	0.059	0.000	1.7	100.0		
Bus38	22.000	90.878	-0.2	0	0	0	0	Bus36	-0.059	0.000	1.7	100.0		
								Bus45	0.045	0.000	1.3	100.0		
								Bus42	0.014	0.000	0.4	100.0		
Bus42	20.000	99.966	-0.2	0	0	0.014	0.000	Bus38	-0.014	0.000	0.4	100.0		
Bus43	20.000	99.974	-0.2	0	0	0.016	0.000	Bus28	-0.016	0.000	0.5	100.0		
Bus44	20.000	99.954	-0.3	0	0	0.048	0.000	Bus22	-0.048	0.000	1.4	100.0		
Bus45	20.000	99.960	-0.3	0	0	0.045	0.000	Bus38	-0.045	0.000	1.3	100.0		
Bus46	20.000	99.970	-0.2	0	0	0.020	0.000	Bus30	-0.020	0.000	0.6	100.0		
Bus47	20.000	99.958	-0.3	0	0	0.015	0.000	Bus22	-0.015	0.000	0.4	100.0		
Bus48	20.000	99.967	-0.2	0	0	0.018	0.000	Bus9	-0.018	0.000	0.5	100.0		

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)

Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

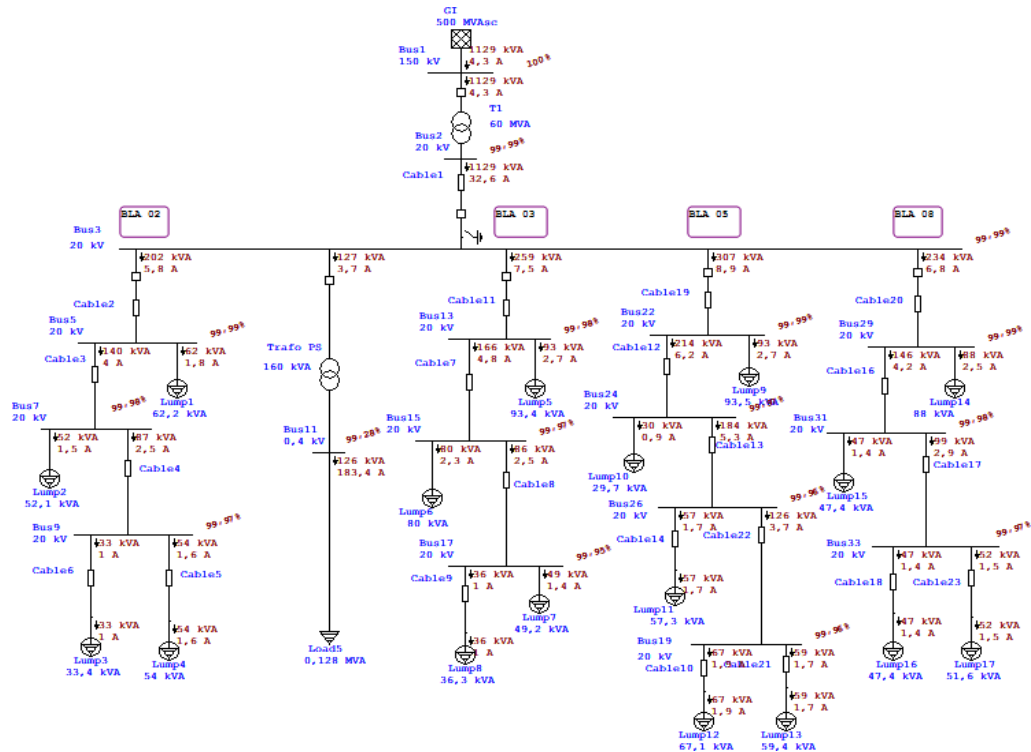
Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To
T1		0.656	0.003	-0.656	-0.001	0.1	2.7	100.0	90.9
Cable1		0.656	0.001	-0.656	-0.001	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable2		0.145	0.000	-0.145	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable18		0.208	0.000	-0.208	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable19		0.128	0.000	-0.128	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable20		0.123	0.000	-0.123	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Trafo PS		0.052	0.001	-0.051	0.000	0.4	0.6	90.9	99.3
Cable3		0.089	0.000	-0.089	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable4		0.055	0.000	-0.055	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable5		0.036	0.000	-0.036	0.000	0.0	0.0	90.9	100.0
Cable6		0.018	0.000	-0.018	0.000	0.0	0.0	90.9	100.0
Cable7		0.134	0.000	-0.134	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable8		0.080	0.000	-0.080	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable9		0.063	0.000	-0.063	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable10		0.048	0.000	-0.048	0.000	0.0	0.0	90.9	100.0
Cable17		0.015	0.000	-0.015	0.000	0.0	0.0	90.9	100.0
Cable11		0.049	0.000	-0.049	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable12		0.033	0.000	-0.033	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable21		0.016	0.000	-0.016	0.000	0.0	0.0	90.9	100.0
Cable13		0.020	0.000	-0.020	0.000	0.0	0.0	90.9	100.0
Cable14		0.069	0.000	-0.069	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable15		0.059	0.000	-0.059	0.000	0.0	0.0	90.9	90.9
Cable16		0.045	0.000	-0.045	0.000	0.0	0.0	90.9	100.0
Cable23		0.014	0.000	-0.014	0.000	0.0	0.0	90.9	100.0
						0.6	3.3		

Tabel 2. Rugi-rugi daya 16 MVA sebelum dilakukannya *uprating*

3.2 Kondisi Sesudah dilakukannya *Uprating* Transformator daya sebesar 60 MVA pada 89 Feeder BLA 02, BLA 03, BLA 05, BLA 08

Simulasi *ETAP* transformator 60 MVA sebelum dilakukannya *uprating* sebagai berikut :



Gambar 2. Hasil simulasi running *software* ETAP pada transformator 60 MVA setelah dilakukannya *uprating*

Berdasarkan hasil *running ETAP* pada transformator 60 MVA sesudah dilakukannya *uprating* diperoleh tegangan rating sekunder sebesar 20 kV dan arus pada masing-masing bus beban tidak ada yang mengalami *under voltage* sehingga memunculkan daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada setiap penyulang. Ada beberapa penyulang yang mengalami pergantian penyulang yaitu sebelum dilakukannya *uprating* terdapat BLA 04 dan setelah dilakukan *uprating* menjadi BLA 05 sehingga aliran beban saluran setelah dilakukannya *uprating* transformator seperti dibawah ini :

Tabel 3. Load flow transformator 60 MVA sesudah dilakukannya *uprating*

LOAD FLOW REPORT														
Bus		Voltage			Generation		Load		Load Flow					XFMR
ID	kV	% Mag	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap	
* Bus1	150.000	100.000	0.0	1.129	0.016	0	0	Bus2	1.129	0.016	4.3	100.0		
Bus2	20.000	99.992	-0.1	0	0	0	0	Bus3	1.129	0.013	32.6	100.0		
Bus3	20.000	99.992	-0.1	0	0	0	0	Bus1	-1.129	-0.013	32.6	100.0		
								Bus2	-1.129	-0.013	32.6	100.0		
								Bus5	0.202	0.000	5.8	100.0		
								Bus13	0.259	0.000	7.5	100.0		
								Bus22	0.307	0.000	8.9	100.0		
Bus5	20.000	99.991	-0.1	0	0	0.062	0.000	Bus29	0.234	0.000	6.8	100.0		
								Bus11	0.126	0.013	3.7	99.5		
								Bus3	-0.202	0.000	5.8	100.0		
								Bus7	0.140	0.000	4.0	100.0		
								Bus5	-0.139	0.000	4.0	100.0		
Bus7	20.000	99.981	-0.1	0	0	0.052	0.000	Bus9	0.087	0.000	2.5	100.0		
Bus9	20.000	99.974	-0.1	0	0	0	0	Bus7	-0.087	0.000	2.5	100.0		
								Bus41	0.054	0.000	1.6	100.0		
								Bus35	0.033	0.000	1.0	100.0		
Bus11	0.400	99.277	-5.8	0	0	0.126	0.000	Bus3	-0.126	0.000	183.4	100.0		
Bus13	20.000	99.982	-0.1	0	0	0.093	0.000	Bus15	0.166	0.000	4.8	100.0		
								Bus3	-0.259	0.000	7.5	100.0		
Bus15	20.000	99.974	-0.1	0	0	0.080	0.000	Bus13	-0.165	0.000	4.8	100.0		
								Bus17	0.086	0.000	2.5	100.0		
Bus17	20.000	99.952	-0.2	0	0	0.049	0.000	Bus15	-0.085	0.000	2.5	100.0		
								Bus39	0.036	0.000	1.0	100.0		
Bus19	20.000	99.959	-0.2	0	0	0	0	Bus42	0.067	0.000	1.9	100.0		
								Bus40	0.059	0.000	1.7	100.0		
								Bus26	-0.126	0.000	3.7	100.0		
Bus22	20.000	99.987	-0.1	0	0	0.093	0.000	Bus24	0.214	0.000	6.2	100.0		
								Bus3	-0.307	0.000	8.9	100.0		
Bus24	20.000	99.974	-0.1	0	0	0.030	0.000	Bus22	-0.213	0.000	6.2	100.0		
								Bus26	0.184	0.000	5.3	100.0		
Bus26	20.000	99.961	-0.2	0	0	0	0	Bus24	-0.184	0.000	5.3	100.0		
								Bus38	0.057	0.000	1.7	100.0		
								Bus19	0.126	0.000	3.7	100.0		
Bus29	20.000	99.987	-0.1	0	0	0.088	0.000	Bus31	0.146	0.000	4.2	100.0		
								Bus3	-0.234	0.000	6.8	100.0		
Bus31	20.000	99.980	-0.1	0	0	0.047	0.000	Bus29	-0.146	0.000	4.2	100.0		
								Bus33	0.099	0.000	2.9	100.0		
Bus33	20.000	99.968	-0.2	0	0	0	0	Bus31	-0.099	0.000	2.9	100.0		
								Bus43	0.047	0.000	1.4	100.0		
								Bus44	0.052	0.000	1.5	100.0		
Bus35	20.000	99.973	-0.2	0	0	0.033	0.000	Bus9	-0.033	0.000	1.0	100.0		
Bus38	20.000	99.956	-0.2	0	0	0.057	0.000	Bus26	-0.057	0.000	1.7	100.0		
Bus39	20.000	99.949	-0.2	0	0	0.036	0.000	Bus17	-0.036	0.000	1.0	100.0		
Bus40	20.000	99.958	-0.2	0	0	0.059	0.000	Bus19	-0.059	0.000	1.7	100.0		
Bus41	20.000	99.969	-0.2	0	0	0.054	0.000	Bus9	-0.054	0.000	1.6	100.0		
Bus42	20.000	99.953	-0.2	0	0	0.067	0.000	Bus19	-0.067	0.000	1.9	100.0		
Bus43	20.000	99.965	-0.2	0	0	0.047	0.000	Bus33	-0.047	0.000	1.4	100.0		
Bus44	20.000	99.968	-0.2	0	0	0.052	0.000	Bus33	-0.052	0.000	1.5	100.0		

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)

Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Tabel 2 ini menunjukkan hasil simulasi aliran beban yang ditampilkan pada single line diagram penyulang BLA 02, Trafo PS, BLA 03, BLA 05 dan BLA 08 untuk mengetahui rugi daya.

Proses *uprating* pada transformator ini terjadi pada penyaluran beban ke konsumen yang mengalami peningkatan. Peningkatan ini bersamaan dengan permintaan daya listrik oleh konsumen yang semakin meningkat, baik rumah tangga maupun di industri yang ada di sekitar GI Blora 150 kV. Terdapat beberapa penyulang yang mengalami perubahan yaitu BLA 04 menjadi BLA 05 dan peningkatan jumlah beban. *Uprating* transformator dilakukan dengan penggantian transformator 60 MVA pada trafo 1 yang awalnya banyak terdapat under voltage pada setiap penyulang BLA 02, BLA 03, BLA 04, BLA 08 menjadi tidak ada under voltage setelah dilakukannya *uprating*. Hasilnya, terdapat selisih rugi daya pada kondisi sebelum *uprating* 16 MVA dan saat setelah *uprating* 60 MVA.

Tabel 4. Rugi-rugi daya 60 MVA sebelum dilakukannya *uprating*

Branch Losses Summary Report										
CKT / Branch		From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
ID		MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
T1		1.129	0.016	-1.129	-0.013	0.1	2.7	100.0	100.0	0.01
Cable1		1.129	0.013	-1.129	-0.013	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable2		0.202	0.000	-0.202	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable11		0.259	0.000	-0.259	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable19		0.307	0.000	-0.307	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable20		0.234	0.000	-0.234	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Trafo PS		0.126	0.013	-0.126	0.000	0.3	12.6	100.0	99.3	0.71
Cable3		0.140	0.000	-0.139	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable4		0.087	0.000	-0.087	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable5		0.054	0.000	-0.054	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable6		0.033	0.000	-0.033	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable7		0.166	0.000	-0.165	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable8		0.086	0.000	-0.085	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.02
Cable9		0.036	0.000	-0.036	0.000	0.0	0.0	100.0	99.9	0.00
Cable10		0.067	0.000	-0.067	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable21		0.059	0.000	-0.059	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable22		-0.126	0.000	0.126	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable12		0.214	0.000	-0.213	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable13		0.184	0.000	-0.184	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable14		0.057	0.000	-0.057	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable16		0.146	0.000	-0.146	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable17		0.099	0.000	-0.099	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable18		0.047	0.000	-0.047	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable23		0.052	0.000	-0.052	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
						0.5	15.5			

Nilai perbandingan Hasil Rugi Daya dengan Simulasi *Software* ETAP 12.6.0, dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 5. Perbandingan rugi daya sebelum *uprating* dan sesudah *uprating* dengan simulasi *software* ETAP 12.6.0

Uprating	P LOSSES	
	Watt	kVar
Sebelum <i>uprating</i>	600	3,3
Sesudah <i>uprating</i>	500	15,5

Hasil simulasi ETAP saat sebelum dilakukannya *uprating* diperoleh rugi daya sebesar 600 watt dan 3,3 kVar. Saat sesudah dilakukannya *uprating* hasil simulasi ETAP rugi daya sebesar 500 watt dan 15,5 kVar. Dari data hasil simulasi ETAP tersebut, rugi daya *uprating* di atas mengalami peningkatan yang awalnya sebelum dilakukannya *uprating* 3,3 kVar sekarang menjadi 15,5 kVar.

3.3 Perbandingan Tegangan dan Arus *Uprating* 16 MVA menjadi 60 MVA dengan simulasi software ETAP 12.6.0

Tabel 6. Sebelum *uprating* transformator 16 MVA

Penyulang	Bus	Daya Aktif (KW)	Daya Reaktif (kVAR)	Arus Bus (A)
Trafo Primer	1	656	3	2,5
Trafo Sekunder	2	656	0,64	18,9
BLA 02	3	145	0,01	4,2
	5	89	0,01	2,6
		56	0	1,6
	6	34	0	1
		55	0,01	1,6
	9	36	0	1,1
		18	0	0,5
BLA 03	3	208	0,05	6
	15	134	0,02	3,9
		73	0	2,1
	17	54	0	1,6
		80	0,01	2,3
	19	63	0,01	1,8
		16	0	0,5
	22	15	0	0,4
		48	0	1,4
BLA 04	3	128	0,01	3,7
	26	49	0	1,4
		79	0	2,3
	28	16	0	0,5
		33	0	0,9
	30	20	0,001	0,6
		12	0	0,4
BLA 08	3	123	0,02	3,6
	34	69	0,01	2
		54	0	1,5
	36	10	0	0,3
		59	0,01	1,7

	38	45	0	1,3
		14	0	0,4
Total		3147	3,811	74,6

Tabel 7. Sesudah *uprating* 60 MVA

Penyulang	Bus	Daya Aktif (KW)	Daya Reaktif (kVAR)	Arus Bus (A)
Trafo Primer	1	1129	16	43
Trafo Sekunder	2	1129	13	32,6
BLA 02	3	202	0,04	5,8
	5	140	0,03	4
		62	0	1,8
	7	52	0	1,5
		87	0,01	2,5
	9	33	0	1
		54	0	1,6
BLA 03	3	259	0,07	7,5
	13	166	0,03	4,8
		93	0	2,7
	15	80	0	2,3
		86	0,01	2,5
	17	36	0	1
		49	0	1,4
BLA 05	3	307	0,11	8,9
	22	214	0,09	6,2
		93	0	2,7
	24	30	0	0,9
		184	0,05	5,3
	26	57	0	1,7
		126	0,01	3,7
	19	67	0	1,9
		59	0,01	1,7
BLA 08	3	234	0,05	6,8
	29	146	0,03	4,2
		88	0	2,5
	31	47	0	1,4
		99	0,02	2,9

	33	47	0	1,4
		52	0	1,5
Total		5507	29,56	169,7

Kondisi sebelum dilakukannya *uprating* 16 MVA hasil simulasi ETAP diperoleh pada daya aktif trafo primer BUS 1 656 kW, daya reaktif 3 kVar dan arus 2,5 A, daya aktif trafo sekunder BUS 2 656 kW, daya reaktif 0,64 kVar dan arus 18,9 A. Kondisi setelah dilakukannya *uprating* 60 MVA daya aktif trafo primer BUS 1 sebesar 1129 kW, daya reaktif 16 kVar dan arus 4,3 A, daya aktif trafo sekunder BUS 2 1129 kW, daya reaktif 13 kVar dan arus 32,6 A. Dari data tersebut setelah dilakukannya *uprating* trafo 60 MVA di atas sudah cukup baik, karena daya aktif, daya reaktif dan arus tidak mengalami penurunan tetapi semakin bertambah pada setiap penyulanganya walaupun ada beberapa penyulang yang mengalami perubahan BLA 04 yang awalnya ada pada trafo 1 diganti menjadi BLA 05 yang awalnya pada trafo 2. Total daya aktif, daya reaktif dan arus sebelum dan sesudah dilakukannya *uprating* mempunyai selisih 2360 kW, 25,749 kVar dan 95,1 A.

3.4 Hasil Profil Tegangan pada *Software ETAP 12.6.0*

Hasil profil tegangan yang diperoleh setelah simulasi aliran daya pada *software ETAP 12.6.0* yang menampilkan besarnya kualitas tegangan di setiap masing-masing busbar tegangan menengah melalui Gardu Induk Blora penyulang BLA 02, BLA 03 dan BLA 08 yang nantinya akan mendapatkan nilai berapa besar hasil tegangan terendah dan berapa besar nilai tegangan tertingginya pada setiap busbar tersebut. Berikut merupakan hasil profil tegangan pada setiap busbar sebelum dan sesudah dilakukannya *uprating*.

Tabel 8. Profil tegangan 16 MVA sebelum *uprating*

Penyulang	Bus	Profil Tegangan	
		kV	%V
Trafo Primer Trafo Sekunder	1	150 kV	100%
	2	19,996 kV	90,889%
BLA 02	3	19,996 kV	90,889%
	5	19,996 kV	90,889%
	6	19,993 kV	90,889%
BLA 03	9	19,993 kV	90,883%
	15	19,994 kV	90,879%
	17	19,993 kV	90,882%
	19	19,993 kV	90,876%
	22	19,992 kV	90,871%

BLA 08	34	19,995kV	90,87%
	36	19,994 kV	90,884%
	38	19,993 kV	90,878%

Tabel 9. Profil tegangan 60 MVA sesudah *uprating*

Penyulang	Bus	Profil Tegangan	
		kV	%V
Trafo Primer Trafo Sekunder	1	150 kV	100%
	2	19,998 kV	99,992%
BLA 02	3	19,998 kV	99,992%
	5	19,999 kV	99,991%
	7	19,998 kV	99,981%
BLA 03	9	19,997 kV	99,974%
	13	19,998 kV	99,982%
	15	19,997 kV	99,974%
BLA 08	17	19,995 kV	99,952%
	34	19,999 kV	99,997%
	36	19,998 kV	99,98%
	38	19,997 kV	99,968%

Setelah diketahui profil tegangan pada setiap penyulang di atas, maka dapat dilihat pada penyulang dan busbar tersebut yang mempunyai tegangan terendah sebelum dilakukannya *uprating* 16 MVA maupun sesudah dilakukannya *uprating* 60 MVA. Dari hasil simulasi aliran daya *ETAP* 12.6.0 didapatkan hasil dan titik terendah profil tegangan pada penyulang dan busbar, sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil profil tegangan terendah penyulang dan busbar

Kondisi	Penyulang	Bus	Profil Tegangan Terendah	
			kV	% V
Sebelum <i>uprating</i>	BLA 03	22	19,992 kV	90,871%
Sesudah <i>uprating</i>	BLA 03	17	19,995 kV	99,952%

Tabel 11. Hasil profil tegangan tertinggi penyulang dan busbar

Kondisi	Penyulang	Bus	Profil Tegangan Tertinggi	
			kV	% V
Sebelum <i>uprating</i>	BLA 02	5	19,996 kV	90,889%
Sesudah <i>uprating</i>	BLA 08	36	19,998 kV	99,98%

Dari kedua tabel di atas terlihat bahwa tegangan terendah sebelum dilakukannya *uprating* 16 MVA terjadi pada penyulang BLA 03 bus 22 sebesar 19,992 kV dan 90,871%, sedangkan sesudah dilakukannya *uprating* 60 MVA menjadi penyulang BLA 03 bus 17 sebesar 19,995 kV dan 99,952%. Profil tegangan tersebut sudah cukup baik, karena ada pertambahan tegangan. Kemudian tegangan tertinggi sebelum dilakukannya *uprating* 16 MVA terjadi pada penyulang BLA 02 bus 5 sebesar 19,996 kV dan 90,889%, sedangkan sesudah dilakukannya *uprating* 60 MVA menjadi penyulang BLA 08 bus 36 sebesar 19,998 kV dan 99,98%.

3.5 Uprating Gardu Induk 16 MVA menjadi 60 MVA

Uprating transformator ini terjadi pada saluran distribusi 150/20 kV pada transformator 1 pada Gardu Induk Blora 150 kV. Sehingga pengaruh *uprating* ini sangat penting terutama untuk mengevaluasi pengaruh terjadinya gangguan hubungan singkat pada jaringan. Selain itu, uji coba digunakan untuk menilai kapasitas-kapasitas alat-alat pemutus tenaga (PMT), maupun jaringan hal tersebut dilakukan untuk mengevaluasi uji breaking capacity PMT sebagai pengaman (proteksi).

Penentuan dilakukannya penggantian transformator (*uprating*) karena beban kerja transformator hampir mencapai 90%. Dari hasil penelitian yang penulis lakukan, bahwa *uprating* yang terjadi pada trafo 16 MVA semakin mendekati maksimal beban kerja trafo maka beban listrik yang ditanggung gardu induk sangat tinggi dan melebihi kapasitas gardu induk dengan demikian gardu induk akan mengalami kelebihan beban yang menyebabkan overhead, jika itu terjadi secara terus menerus maka akan mempengaruhi reliability sistem trafo. Dan juga mengalami kekurangan pasokan daya listrik yang disalurkan kepada konsumen sehingga mengakibatkan terjadinya padam berkala yang dapat merugikan konsumen dan juga PLN maka harus dilakukan penggantian trafo (*uprating*) 60 MVA agar sistem kehandalan pada penyulang terpenuhi. Kinerja transformator setelah dilakukannya *uprating* transformasi 16 MVA menjadi 60 MVA pada transmisi Gardu Induk Blora 150 kV yaitu pemadaman listrik semakin menurun ke konsumen, dan rugi pada PLN distribusi semakin sedikit. Selain itu arus yang mengalir pada transformator saat sebelum dan sesudah dilakukan proses *uprating*.

3.3.5 Perhitungan I_p (arus nominal sisi primer dan sisi sekunder)

1. Sebelum dilakukan *uprating* 16 MVA

- Arus nominal sisi primer sebelum dilakukan *uprating* 16 MVA

$$I_{p1} = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (\text{Rumus 1})$$

$$I_{p1} = \frac{16.000 \text{ kVA}}{150 \text{ kV} \times 1,732}$$

$$I_{p1} = 16,58 \text{ A}$$

- Arus nominal sisi sekunder sebelum dilakukan *uprating* 16 MVA

$$I_{p2} = \frac{S}{V_s \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (\text{Rumus 2})$$

$$I_{p2} = \frac{16.000 \text{ kVA}}{22 \text{ kV} \times 1,732}$$

$$I_{p2} = 419.903 \text{ A}$$

2. Sesudah dilakukan *uprating* 60 MVA

- Arus nominal sisi primer sesudah dilakukan *uprating* 60 MVA

$$I_{p1} = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (\text{Rumus 3})$$

$$I_{p1} = \frac{60.000 \text{ kVA}}{150 \text{ kV} \times 1,732}$$

$$I_{p1} = 230,95 \text{ A}$$

- Arus nominal sisi sekunder sesudah dilakukan *uprating* 60 MVA

$$I_{p2} = \frac{S}{V_s \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (\text{Rumus 4})$$

$$I_{p2} = \frac{60.000 \text{ kVA}}{20 \text{ kV} \times 1,732}$$

$$I_{p2} = 1732,1 \text{ A}$$

4. PENUTUP

Dari penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa ETAP yang dapat disimpulkan aliran (*load flow*) sebelum dilakukannya *uprating* transformator 16 MVA yaitu sebesar 656 KVA pada BUS 1 dan BUS 2, kemudian setelah dilakukannya *uprating* transformator 60 MVA menjadi 1129 KVA pada BUS 1 dan BUS 2.
2. Pengaruh dilakukannya *uprating* atau penambahan daya transformator dari 16 MVA menjadi 60 MVA, tegangan pada sebelum *uprating* 16 MVA sebesar 90,889% dan transformator 60 MVA 99,98% sedangkan pada simulasi ETAP sebelum dilakukannya *uprating* transformator 16 MVA mengalami under voltage, kemudian setelah dilakukannya *uprating* transformator 60 MVA kondisinya sudah cukup baik.
3. Perubahan yang signifikan setelah dilakukannya *uprating* transformator 60 MVA akibat bertambahnya beban pada penyulang dan pemindahan penyulang BLA 04 menjadi BLA 05 disebabkan karena saat transformator melakukan penyulangan pada kapasitas beban yang masih kurang sehingga kapasitas trafo yang tersedia sehingga menyebabkan padam konsumen.

PERSANTUNAN

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan naskah publikasi tugas akhir sebagai syarat menyelesaikan program dan studi Strata-1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta. Penulis mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang membantu, memberikan dukungan doa, motivasi dan semangat yang diberikan dalam mengerjakan naskah publikasi ini sebagai berikut :

1. Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dalam mengerjakan tugas akhir ini.
2. Bapak dan Ibu tercinta yang selalu memberikan motivasi, nasehat, doa dan semangat setiap harinya yang tidak pernah putus. Terima kasih atas segala perjuangan yang diberikan selama saya menyelesaikan perkuliahan ini dan saya bersyukur memiliki kedua orang tua seperti mereka.
3. Bapak Aris Budiman, ST.,MT selaku dosen pembimbing yang telah sabar memberikan bimbingan dan memberikan ilmu, masukan yang terkait dengan naskah publikasi ini.
4. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang sudah memberikan ilmu dari semester 1-7 selama berada di bangku perkuliahan untuk bekal di dunia kerja nantinya.
5. Bapak Ary Syukur selaku Supervisor Gardu Induk Blora dan Bapak Irfan selaku Anggota Teknik PT PLN (Persero) ULP Blora yang telah memberikan izin serta waktunya atas informasi data untuk naskah publikasi ini.
6. Muthia Nur Afifah karena selalu kuat, sabar dan terus termotivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Pramudya, dan teman kuliah lainnya dari maba sampai sekarang, Mbak Nita, Mbak Riska, Mbak Nurul dan Mbak Niza yang selalu semangat, teman-teman ELECTRA, teman-teman grup anak buah Pak Ary penelitian di Gardu Induk 150 kV Blora yang telah membantu, teman-teman seperdosbingan Pak Aris, serta teman-teman Teknik Elektro 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Grigoras, Scarlatache, dkk. (2017). *Analysis of Energy Saving Solutions based on Replacement of Distribution Transformers*. Journal, International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) & 2017 Intl Aegaen Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), Brasov Romania.
- Indarto, Garniwa. (2017). *Total Cost Of Ownership Analysis Of 60 MVA 150/20 Kv Power Transformer*. Journal. International Conference on Quality in Research (QiR), International Symposium on Electrical and Computer Engineering, Nusa Dua, Bali, Indonesia.

- Maryono, Septiyani. (2011). *Throught Fault Monitoring System to Predict the Degradation of Transformer Whitstand Capability*. Journal, *Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, Bandung, Indonesia.
- Jirapong, P Bunchoo,dkk. (2015).*Effect of upgrading primary feeders from radial to loop arrangement on electrical distribution system performance*. Journal, International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Hua Hin, Thailand.
- Saputro, KT Mauriraya,dkk.(2019). *Pengaruh Penggantian Transformator Terhadap Rugi-rugi Pada Transformator Distribusi*. Jurnal, LPPM Sekolah Tinggi Teknik PLN.
- Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga. PT PLN (Persero) ULP Blora.
- Ardianto F. (2013). *Studi Penentuan Penggantian Transformator Gardu Induk dengan memprediksi beban konsumen*. Jurnal,Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Palembang, Indonesia.
- S, Benyamin Hardinoto. (2020). *Studi Analisis Dampak Overload Transformator Terhadap Kualitas Daya*. PT. PLN (Persero) UP3 Pondok Gede.
- S Bahri dkk. (2015). *Studi Pertambahan Beban Transformator Daya Pada Gardu Induk Parit Baru PT.PLN (Persero) Cabang Pontianak*. Jurnal. Jurusan Teknik Elektro Univeristas Tanjungpura.